



TITLE:

Studies on non-equilibrium fluctuating motion as a rectifier(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

Sano, Tomohiko

CITATION:

Sano, Tomohiko. Studies on non-equilibrium fluctuating motion as a rectifier. 京都大学, 2016, 博士(理学)

ISSUE DATE:

2016-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k19477>

RIGHT:

学位規則第9条第2項により要約公開; 許諾条件により本文は2017-01-01に公開

(続紙 1)

京都大学	博 士（理 学）	氏名	佐野友彦
論文題目	Studies on non-equilibrium fluctuating motion as a rectifier (整流器としての非平衡条件下の揺らぐ運動の研究)		
(論文内容の要旨)			
<p>アインシュタインに始まるゆらぎの研究は20世紀末から非常に盛んに行われて来た。しかしそのゆらぎを整流し、熱機関として利用する可能性はファインマンのラチェットの指摘以降、それほど質的な進展は見られないように思われる。それはラチェット等の整流器を用いても、平衡周りの熱ゆらぎから仕事を取り出せない事は良く知られているからであると思われる。しかしながら近年になって非平衡環境にラチェットのような整流器を置けば、仕事を取り出せる事が明らかになり、研究の機運が再び盛り上がって来た。</p> <p>その背景を踏まえて本論文では、非平衡環境中に置かれたピストンやローターといった整流器の動きと、それに伴う最大パワーの熱機関としての効率の推定や仕事の抽出の可能性、更に整流器の動きからの環境の推定等の理論的研究を行っている。</p> <p>本論文では導入部にあたる概要とこれまでの研究史を含めた研究の背景を説明した1章に続き、2章では有限時間熱力学のまとまったレビュー、3章では確率解析のミニマムでありながら十分な解説、4章では既存の確率論的なエネルギー論のレビューを行っている。これらの4章迄はオリジナルな研究成果が著されている訳ではないが、申請者の視点からの当該分野の教科書としても使えるまとまった解説になっている。</p> <p>本論文の主要部分は、オリジナルな研究成果をまとめた5－7章である。5章では等しい圧力と異なった温度で特徴付けられる2つの平衡環境の間に挿入された断熱ピストンの運動が、壁面との非線形摩擦によってどのような影響を受けるかを論じている。従来知られていたのは壁面との摩擦がない際に、高温サイドに動くピストンが、非線形摩擦を特徴付ける摩擦係数が閾値以上で低温側から高温側に反動く現象を発見した事と、ゆらぎの定理が摩擦によって補正を受ける事を報告している。付録Aと5章に述べられた、この成果は既に英文の学術論文誌に掲載されている。</p> <p>6章では典型的な非平衡環境である擬2次元の容器中の振動粉体系と、その容器内にあるローターの運動を論じた。そこでの焦点は環境の特性からローターの運動を推定する事（本論文では順公式と呼ぶ）と、逆にローターの運動から環境の非平衡性を抽出する逆公式の有用性を示した。この研究では特に逆公式の有用性を示した事が特筆され、また現実的な粉体系での逆公式のデモはユニークな研究成果である。付録B-Dでは6章の内容を補足する詳細な計算を論じている。付録Bではベンチマークテストとして、重力等の外場がなく、平衡環境の場合にローターの色度分布が解析的に求まるが、それを正確に推定できるか方法論のテストを行っている。付録Cではローターに働く摩擦力が線形である時の逆公式、順公式を導くのに必要な詳細な計算を載せている。付録Dではローターに働く摩擦が固体の乾燥摩擦、即ち速度の向きで一定の値を取る場合に、逆公式及び順公式を導くのに必要な詳細な計算を紹介している。</p> <p>7章では、ピストンに封入した気体容器に高温と低温の熱浴をそれぞれ接触させて、熱サイクルを構成した際の最大パワーの熱効率を論じた。そこで申請者は、ピストンが十分に重く、壁面との摩擦や壁と気体分子との衝突によるエネルギーロスが無視出来る場合に、稀薄気体ではCurzon-Ahlborn等による有限温度熱力学で良く知られた効率に漸近する事と、有限濃度気体では接触熱浴と封入気体間の熱流の影響でその</p>			

(続紙 2)

効率より低い状態に留まる事を発見した。付録Fでは、ピストンの運動の自己時間相関関数の詳細な計算を載せている。また付録Gでは、ピストンに働く仕事を確率論的エネルギー論の枠内でどのように定義すべきかを論じている。また付録Hでは7章で論じた効率が壁面とピストンの間にある摩擦によってどのように低下するかを計算している。

8章では、本論文で新たに得られた知見のまとめを行うと同時に、未解決の問題をまとめて今後の課題としている。また付録Eでは5-7章にわたって共通して必要になる気体分子運動論の概略について初等的解説を行っている。

(論文審査の結果の要旨)

本論文は申請者のこれまでの彼の研究の集大成ではなく、ゆらぐ熱力学とその整流作用と云う一つのテーマに沿ってまとめたものである。それにも拘わらず1-4章での教科書的な当該分野のレビューを含めて、英文で125ページという十分な量があり、今後の本分野の研究の標準的な教科書として使えるのではないかという期待も出来る程、まとまりのある学位論文となっている。

本論文の5章で論じた断熱ピストン問題は熱力学だけでは論じる事が知られており、20世紀末に運動論的手法によって問題は解かれた。しかしセットアップが理想化されており現実味に乏しいきらいがあった。申請者が5章で論じた問題は、現実の系で断熱ピストンの運動方向が反転する等、如何に非自明な運動を行うかを初めて指摘したものであり、今後の実験的研究を刺激する可能性を含めて十分に学術的な価値があると認める。

また6章で論じたローターの運動から環境の逆推定が可能な事は既に申請者が第2著者である論文で指摘されていたが、申請者はそれを現実の振動粉体系に対応するセットアップでも逆推定が可能である事を示したのは、実験に重きを置く視点から優れた研究であると認める事が可能である。勿論、申請者が求めた順公式も有用である。環境の中にある検出器或いは整流器の運動と環境粒子の運動の関係は、今まで陽に論じられていなかったが、今後は重要になる視点であると思われる。同時に申請者が発展させた方法論が広く使われる事を期待する。

更に7章で論じた接触熱浴を取り換える事で実現する熱サイクルの効率の研究は熱力学の教科書に記述されている設定に対応しながら、その非平衡的側面を明らかにした点で大いに価値があると認める。また分子動力学法によるシミュレーション、確率論的なモデルによるシミュレーション、解析的な手法による近似計算を詳細に比較検討する事で申請者の注意深い解析を窺わせる。申請者の本研究により有限時間熱力学に新しい光を充てる事に成功したのではないだろうか。

勿論、5章におけるゆらぎの定理の破れの意味するものは何かという批判、6章は既存の枠組みを現実的な系に適用しただけという批判、7章では、理論的に体積と圧力の間の関係の特徴付ける指数を理論的に決めきれなかった点での不満等はある。しかし、5-7章のユニークな結果や1-4章での丁寧な導入とレビュー、付録での詳細な計算を含む本学位論文は標準的なレベルを超える優れたものであり、同時にオリジナリティに溢れるものとして批判を補って余りあるものとして高く評価する。

よって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成27年12月24日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： 年 月 日以降